



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tuomas Antero Anttila

ALUMIININ VALUPROSESSIN LAADUNPARANNUS

Tekniikka ja liikenne

2010

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Vaasan ammattikorkeakoulun kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelman opinnäytetyönä. Sen tekeminen on aloitettu tammikuussa 2010. Opinnäytetyön valvojina ovat toimineet Vaasan ammattikorkeakoulusta lehtori Hannu Hyvärinen sekä Mäkelä Alu Oy:stä tuotantopäällikkö Tomi Pilbacka.

Suuret kiitokset Tomi Pilbackalle, joka mahdollisti tämän työn tekemisen. Erityiskiitokset Mäkelä Alu Oy:n valimon henkilökunnalle kaikesta avusta työn suhteen. Lisäksi kiitokset Mäkelä Alu Oy:n hallituksen puheenjohtaja Petri Mäkelälle avusta koesuunnitteluja pohtiessa.

Tuomas Anttila

14.5.2010

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Tuomas Anttila
Opinnäytetyön nimi	Alumiinin valuprosessin laadun parannus
Vuosi	2010
Kieli	suomi
Sivumäärä	52 + 4 liitettä
Ohjaaja	Hannu Hyvärinen

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia alumiinin valuprosessia Mäkelä Alu Oy:n valimossa. Tavoitteena oli etsiä valuprosessin lopputulokseen vaikuttavia tekijöitä, joita muuttamalla voidaan parantaa lopputuloksen laatua sekä miettiä prosessiin muita pieniä parannusehdotuksia.

Tutkimuksessa prosessia tutkittiin tarkkailemalla ja tekemällä itse valuja kokeneen valurin apuna. Itse tutkimuksessa suunniteltiin ja toteutettiin sarja koeajoja käyttämällä hyväksi Taguchin menetelmää.

Tutkimuksen teoreettisessa osuudessa käydään läpi Mäkelä Alu Oy ja sen historia, alumiini yleisesti ja sen valaminen, Mäkelä Alu Oy:n puristinprosessi sekä valuprosessi.

Lisäksi käydään läpi valuprosessin laatuvaatimukset ja ongelmat sekä teollisen koesuunnittelun pohjalta toteutetut koeajot. Tuloksissa analysoidaan koeajot.

Työssä saatiin selville muutosehdotuksia prosessiin. Lisäksi koeajoissa löytyi muuttuja, jolla on suurin vaikutus prosessin lopputulokseen.

Avainsanat	alumiini, valuprosessi, koeajot, prosessin kehitys, Taguchin-menetelmä, teollinen koesuunnittelu, muuttuja
------------	--

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

ABSTRACT

Author	Tuomas Anttila
Title	Quality Improvement of Aluminum Casting Process
Year	2010
Language	Finnish
Pages	52 + 4 Appendices
Name of Supervisor	Hannu Hyvärinen

The purpose of this study was to investigate the aluminum casting process in a Mäkelä Alu Oy's casting facility. The main goal was to find the outcome factors that effects the casting process and consider how to improve the result of the process.

In the investigation process was studied by observing and working in a casting facility. In a study we designed and implemented a series of trial runs by using methods of Taguchi.

In the theoretical part of this thesis discussed Mäkelä Alu Oy and its history, aluminium in general, casting process of aluminium in general, Mäkelä's aluminium pressing process and Mäkelä's casting process.

The quality requirements of casting process and what kind of problems it contains were studied. The Taguchi method was used in designing test runs and analyzing the results.

The study revealed the result of test trials which we did by using methods of Taguchi, the most important ones of which were some improvements for the casting process. The results of test trial also revealed one variable, ie. an adjustable feature in the process eg. cooling water flow rate, which affected the result of process.

Keywords	aluminum, casting process, test trials, process development, method of Taguchi, design of experiments, factor
----------	---

SISÄLLYS

ALKUSANAT	2
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
TAULUKKOLUETTELO	7
LIITELUETTELO	8
1 JOHDANTO	9
1.1 Johdattelu aiheeseen.....	9
1.2 Tutkimusongelman esittely	9
1.3 Tehtävä ja tavoite	10
2 YRIYS	11
2.1 Mäkelä Alu Oy.....	11
2.2 Mäkelä Alu Oy:n historia.....	12
3 ALUMIINI	14
3.1 Yleistä	14
3.2 Alumiiniseokset	16
3.3 Alumiinin valu yleisesti	18
3.3.1 Sulatus	18
3.3.2 Valumenetelmät	20
4 MÄKELÄ ALU OY:N PROSESSIT	21
4.1 Puristinprosessin kuvaus	21
4.1.1 Työkalun suunnittelu ja valmistus	21
4.1.2 Kuumapuristaminen	22
4.2 Valuprosessin kuvaus	23
4.2.1 Sulatusuuni.....	24
4.2.2 Valun ainespitoisuuksien tarkistus	26
4.2.3 Valupöytä ja hissi	27
4.2.4 Homogenisointiuuni	31
5 KEHITYS	32
5.1 Laatuvaatimukset.....	32
5.2 Ongelmat	33

6	TEOLLINEN KOESUUNNITTELU	36
6.1	Taguchin menetelmä	36
6.1.1	Johdanto Taguchin menetelmään.....	36
6.1.2	Systeemisuunnittelu	37
6.1.3	Toleranssisuunnittelu	38
6.1.4	Parametrisuunnittelu	38
6.1.4.1	Perusstrategia	38
6.1.4.2	Parametrit.....	39
6.1.4.3	Häiriöiden luokittelu	40
6.1.4.4	Kokeiden suunnittelu ortogonaalimatriisien avulla.....	40
6.1.4.5	Signaali-kohinasuhde	42
6.2	Valuprosessin koesuunnittelu	43
6.3	Tulokset	45
7	YHTEENVETO.....	49
LÄHDELUETTELO		

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1.	Alumiinin ominaisuustaulukko
Taulukko 2.	Alumiinin seosaineet
Taulukko 3.	Mäkelä Alu Oy:n käyttämät seokset
Taulukko 4.	Mäkelä Alu Oy:n valimossa valettavien seosten lisäaineiden pitoisuudet

LIITELUETTELO

LIITE 1	Valimon koeajojen matriisitaulukot
LIITE 2	Koe-ohje jokaiselle koeajolle
LIITE 3	Arviointilomake valujen lopputuloksen arviointiin
LIITE 4	Koeajojen tulokset

1 JOHDANTO

1.1 Johdattelu aiheeseen

Tämän työn toimeksiantajana toimii Mäkelä Alu Oy. Yritys sijaitsee Alajärvellä Luoma-ahon ”teollisuuskylässä”. Mäkelä Alulla on yli 70-vuotiset perinteet ja osaaminen metallien ja metallituotteiden jatkojalostuksessa.

Yrityksen kasvu on ollut huimaa viime vuosina. Toimintaa on kehitetty jatkuvasti ja suuriakin investointeja on tehty. Mäkelä Alulla on oma, vuonna 1996 valmistunut valimo, jossa prosessissa syntynyt romualumiini valetaan uudelleen raaka-aineeksi ja käytetään uudelleen tuotannossa. Yritys korostaa laadun merkitystä tuotannossaan ja tämän työn aiheena on valimon valuprosessin laadun parannus.

1.2 Tutkimusongelman esittely

Mäkelä Alu Oy käyttää tuotannossaan primäärialumiinista valmistettuja puristusaihioita. Profiileita puristettaessa syntyy myös luonnollisesti prosessiromua. Tämä romu sulatetaan ja valetaan uudelleen puristusaihioiksi omassa valimossa. /9/

Valimon merkitys on yritykselle erittäin tärkeä. Alumiinin sulattaminen ei heikennä lopputuotteen laatua lainkaan, joten se voidaan kierrättää uudelleen ja uudelleen. Kierrätysprosessissa pystytään valmistamaan profiilin loppukäyttöä ajatellen tarkoituksenmukainen alumiiniseos. Lisäksi oma valimo turvaa tehtaan raaka-aineen saannin mahdollisissa markkinahäiriöissä. /8/

Valimossa ongelmaksi on muodostunut se, että valun lopputulos ei ole aina tasalaatuista eli valettujen aihoiden laadussa tapahtuu heittoja. Joskus voi tulla pitemmän aikaa todella hyvälaatuisia aihioita ja joskus taas huonoa vaikkei mitään prosessissa muuteta. Prosessia ei ole hirveästi tutkittu vaan valu tapahtuu vuosien kokemuksen ja kokeilujen perusteella. Kaikki työmenetelmät eivät ole suoraan oppikirjasta vaan ne ovat muovautuneet vuosien kokemuksella sopiviksi.

Yritys on viime vuosina kehittänyt paljon muita toimintojaan, kuten puristamoa, lähettämöä ja maalaamoa. Valimo on jäänyt hieman sivuun, mutta nyt yritys on päättänyt panostaa valimon toiminnan kehittämiseen ja tämän työn tarkoitus on tutkia valuprosessia ja miettiä miten lopputuotteen laatu saadaan paremmaksi ja tasalaatuiseksi.

1.3 Tehtävä ja tavoite

Tehtävänä oli siis valuprosessin tutkiminen ja kehittäminen ja sitä kautta lopputuotteen laadun saaminen tasalaatuiseksi. Tavoitteena oli selvittää mistä laadun heittelyt johtuvat. Tehtävässä oli tavoitteena löytää muuttujat, jotka vaikuttavat prosessin lopputulokseen ja joihin käyttäjä pystyy vaikuttamaan. Tarkoitus oli löytää sellaiset muuttujat, jotka vaikuttavat olennaisesti lopputulokseen. Tämän jälkeen suoritettiin sarja koeajoja käyttämällä teollista koesuunnittelua.

Tehtävää varten haettiin taustatietoja kirjoista sekä netistä. Lisäksi valimon työntekijöitä haastateltiin ja olen tutkinut prosessia sivusta seuraamalla sekä osallistumalla itse valamiseen.

Aihe rajattiin niin, että tutkimme prosessia ainoastaan yhdellä seoksella, jota valetaan eniten. Lisäksi työssä ei keskitytä aihion kemialliseen koostumukseen vaan ulkoisiin ominaisuuksiin eli pinnanlaatuun.

2 YRITYS

2.1 Mäkelä Alu Oy

Mäkelä Alu Oy on yksityinen perheyhtiö. Vuoden 2008 liikevaihto oli 53,7 miljoonaa euroa ja työntekijöitä samaisena vuonna oli keskimäärin 167. Kuvassa 1 Mäkelä Alu Oy:n uusittu logo. /9/



Kuva 1. Mäkelä Alu Oy:n uusittu logo /9/

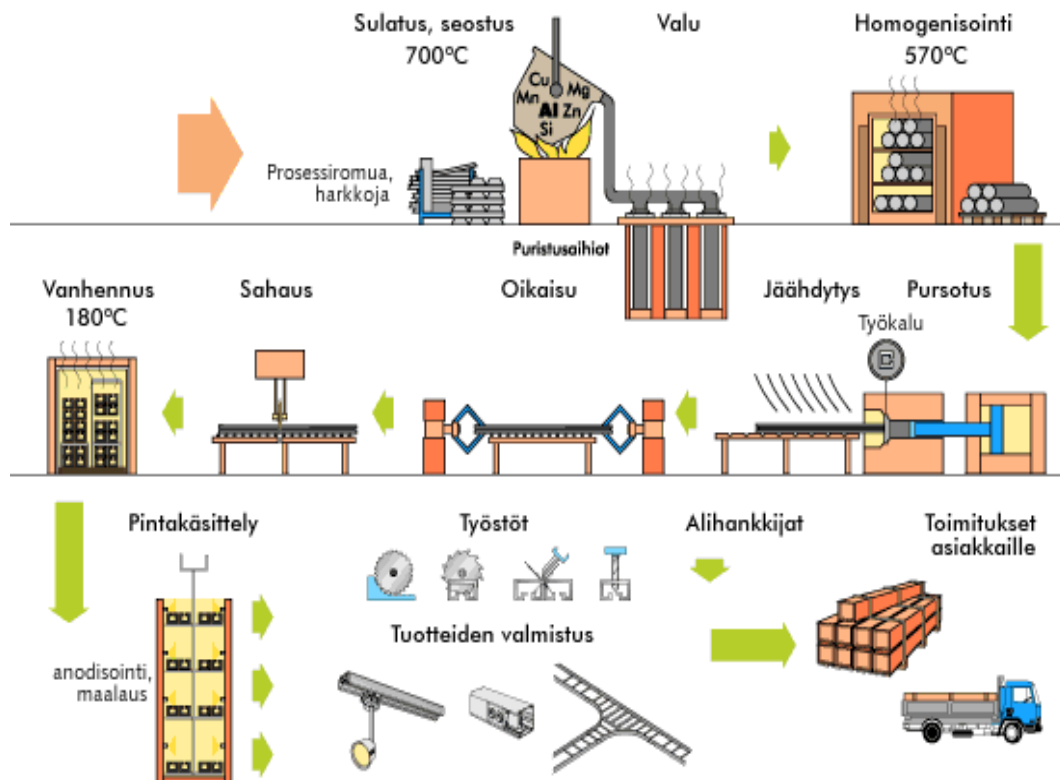
Yritys valmistaa alumiiniprofiileja. Tuotevalikoimaan kuuluvat yleisimmät vakioprofiilit, mutta 90 % tuotannosta on asiakkaiden suunnitelmien mukaan valmistettavia erikoisprofiileja. Yleisimmät käyttökohteet ovat rakennus-, sähkö-, elektroniikka-, auto- ja konepajateollisuus. Tyypillisiä käyttökohteita ovat rakentamisen julkisivu-, ovi- ja ikkunarakenteet, kulkuvälineet ja kuljetuskalusto ilmassa, vedessä ja maalla, koneenrakennus-, sähkö- ja elektroniikkateollisuuden rakenteet ja komponentit, huonekalu- ja sisustusalan tuotteet ja niiden rakenteet. /9/

Raaka-aineet, tuotantolaitteiston nykyaikainen tekniikka ja koulutettu henkilökunta ovat takeina tuotteiden korkealle laadulle. /9/

Viennin osuus tuotannosta on lähes 50 %. Tärkeimmät vientimaat ovat Saksa, Tanska, Ruotsi, Norja ja Venäjä. Suorat tehdaskuljetukset mahdollistavat nopeat ja tehokkaat toimitukset. /9/

Tehdasalueeseen kuuluu kolme puristinlinjaa joista ensimmäinen valmistui vuonna 1990 ja viimeisin vuonna 2008, pakkaamo sekä lähettämö, kaksi pulverimaalaamoja, valimo ja anodisointilaitos.

Yrityksen ympärille on vuosien aikana syntynyt kattava alihankintaverkosto. Tuotteet pystytään jatkojalostamaan suhteellisen nopeasti ja edullisesti. Pintakäsittelyistä yritys hoitaa itse maalaamisen ja anodisoinnin. Muita jatkokäsittelyvaihtoehtoja ovat esimerkiksi alumiinin hionta, katkaisu, rei'itys, pinnoittaminen sekä taivuttaminen. Al-Men Oy, Anla Oy ja Vivadec ovat muutama alumiinin jatkojalostukseen keskittynyt yritys. Kuvassa 2 on alumiinin tuotantoketju.



Kuva 2. Alumiinin tuotantoketju /10/

2.2 Mäkelä Alu Oy:n historia

Mäkelän yritystoiminta on saanut alkunsa kesällä 1937, kun Fredrik Mäkelä perusti peltisepäntoiminnan Luoma-ahon kylään Alajärvelle. Fredrik osti Helsingistä sinkkikoneen, kantisakset ja sirkkelisakset, joilla hän teki pieniä töitä. Ensimmäisiä tuotteita olivat muurinkuoret, erikokoiset maitokannut, maitovadit, ämpärit, kiulut, napot, litrat, mukit ja muita alaan kuuluvia läkkitöitä. /12/

Suuri ongelma oli raaka-aineen saanti. Raaka-ainetta hankittiin muun muassa ostamalla tyhjiä peltitynnyreitä ja saksalaisten sotamateriaalijäännöksiä. /12/

Alumiinin valmistukseen Fredrik Mäkelä siirtyi 1950-luvun alussa. Etelä-Pohjanmaalla oli kova kilpailu peltiastioiden tuotannossa. Alumiiniastiain suhteen sen sijaan oli hiljaisempaa. Myöhemmin siirtyminen alumiiniin käyttöön osoittautui viisaaksi ratkaisuksi. Alumiiniastioiden valmistus aloitettiin painosorvaamalla koeluontoisesti. Koneet ja raaka-ainevarasto ostettiin vaasalaiselta Tamar Oy:ltä. Alumiiniastioiden tuotanto kasvoi rajusti 1950-luvun lopulla. Tärkeimpiä painosorvaamalla tehtyjä tuotteita olivat pesuvadit, ämpärit, maitokannut ja erilaiset kakkuvuoat ja mukit. Einesvuokia valmistettiin vuodesta 1963 alkaen 0,1 mm:n alumiinifoliosta einesteollisuuden käyttöön 20 000 kappaletta päivässä, täysin automaattisesti. /12/

1950-luvun lopulla Fredrik Mäkelä yritti tunkeutua rakennusteollisuuteen valmistamalla uloslämpiviä saunankiukaita. Myös ilmastointijärjestelmät ja palo-ovet kuuluivat tuotantoon. /12/

Yrityksestä päätettiin tehdä kommandiittiyhtiö ja sen nimeksi tuli vuonna 1962 Mäkelän Peltituote Oy. Vuonna 1965 yritys aloitti konesaumakattojen valmistuksen ja asennuksen. Tuotevalikoimaan kuuluivat konesaumakattojen lisäksi kevytorret, muotokatteet ja liberta-julkisivulevyt. Vuonna 1977 Mäkelän Peltituotteesta tuli osakeyhtiö. /12/

Vuonna 1990 Yrityksen uudeksi nimeksi tuli Mäkelä Metals. Ulkomailla käytettiin nimeä Mäkelä Metals Ltd. /12/

Alumiiniprofiilien valmistus aloitettiin vuonna 1990 yhdellä puristinlinjalla, teholtaan 22 MN (2500t). Vuonna 1993 Mäkelä Metals Oy:n koko osakekanta siirtyi Rautaruukki Oy:lle. Tämän jälkeen alumiinituotanto erotettiin Rautaruukista ja nimeksi tuli Mäkelä Alu Oy. Tämän jälkeen kehitys on ollut huimaa. Vuonna 1996 valmistui oma valimo, vuonna 1997 uudet konttoritilat, vuonna 1998 oma maalaamo, vuonna 1999 toinen puristinlinja sekä vuoden 2008 lopulla kolmas puristinlinja. /12/

3 ALUMIINI

3.1 Yleistä alumiinista

Alumiini on heti hapen ja piin jälkeen kolmanneksi yleisin alkuaine maankuoressa. Sitä on maankuoressa noin 8 %. Alumiinia ei esiinny puhtaana luonnossa, vaan se saadaan louhimalla maasta bauksiittia, josta alumiinioksidi erotetaan. Oksidi rikastetaan jauhetusta bauksiitista liuottamalla lipeään. Lopuksi liuoksesta suodatetaan pois kiinteät liukenemattomat ainesosat, jonka jälkeen puhdas alumiinioksidi kiteytetään ja kuivataan. Kahden alumiinitonnin tuottamiseen vaaditaan 4-5 tonnia bauksiittia. /2/

Alumiinin etuna esimerkiksi teräkseen nähden on sen keveys. Alumiini painaa vain kolmasosan teräksen painosta. Muita hyviä ominaisuuksia ovat hyvä muokattavuus, kestävyys, useimpiin tarkoituksiin riittävä lujuus, tyylikäs ulkonäkö, hyvä korroosionkestävyys sekä erinomainen lämmön- ja sähkönjohtokyky. Merkittävä ominaisuus on alumiinin erinomainen kierrätettävyys. Se ei menetä ominaisuuksiaan uudelleen kierrätettäessä ja lisäksi lähes kaikki alumiiniromu voidaan kierrättää. Näin ollen se on myös erittäin ympäristöystävällinen metalli. Taulukossa 1 on luettelo alumiinin ominaisuuksista. /2/

Taulukko 1. Alumiinin ominaisuustaulukko

Alumiinin ominaisuustaulukko EN AW-6060	
Ominaispaino	2,7 kg/dm ³
Sulamispiste	600-650 °C
Ominaislämpö	960 J/kg°C
Lämmönjohtavuus	210 W/m°C
Pituuden lämpötilakerroin	23,0×10 ⁻⁶ 1/°C
Ominaisvastus	0,04×10 ⁻⁶ Ωm
Kimmo-moduuli	70 000N/mm ²

3.2 Alumiiniseokset

Alumiinia käytetään harvemmin täysin puhtaana vaan yleensä se on seostettu eri seosaineilla. Täysin puhdas alumiini on hyvin pehmeää ja sen lujuus on erittäin pieni. Seosaineilla saadaan alumiinin ominaisuudet paremmin käyttötarkoituksiin sopiviksi. Seosaineilla saadaan alumiinin korroosionkestävyyttä paremmaksi, lisää lujuutta sekä parempaa muokattavuutta. Yleisimmät seosaineet ovat kupari, mangaani, pii, magnesium sekä piimagnesium-seos. /5/

Seosaine	Vaikutus ominaisuuksiin
Kupari (Cu)	Tekee seoksista karkenevia, siis lisää lujuutta ja kovuutta, haitallinen vaikutus korroosionkestävyyteen
Pii (Si)	Alentaa sulamispistettä ja parantaa juoksevuutta, yhdessä magnesiumin kanssa antaa tulokseksi karkenevia seoksia, joilla hyvä korroosionkestävyys
Magnesium (Mg)	Parantaa lujuutta ja kovuutta vaikuttamatta korroosionkestävyyteen ja hitsattavuuteen
Mangaani (Mn)	Lisää lujuutta vaikuttamatta haitallisesti sitkeyteen
Pb, Ti, Zr, Li	Parantaa Työstöominaisuuksia, kuumahalkeilun välttäminen, lujuus jne.

Taulukko 2. Alumiinin seosaineet /12/

Alumiiniseokset voidaan luokitella muokattaviin ja valuseoksiin. Muokattavia seoksia voidaan takoa, pursottaa profiileiksi sekä valssata levyiksi, nauhoiksi ja folioksi. Valutuotteita valmistetaan esimerkiksi hiekka-, kokilli- ja painevalumenetelmillä. /5/

Alumiiniseosten lämpökäsittelyt lujittavat alumiinin. Lämpökäsittelymenetelminä käytetään tasahehkutusta, jännityksenpoistohehkutusta, pehmennyshehkutusta

sekä erkautuskarkaisua. Muita käsittelymenetelmiä lujittamiseen ovat liuos-, muokkaus- sekä erkautuslujittaminen. /5/

Mäkelä Alu Oy käyttää seuraavia alumiiniseoksia tuotannossaan (taulukko 3):

Taulukko 3. Mäkelä Alu Oy:n käyttämät seokset.

Seosmerkintä vanhoilla DIN-normeilla	Seosmerkintä uusilla DIN-normeilla
AlMgSi0.5 F18	EN A W-6060
AlMgSi0.5 F22	EN A W-6063
AlMgSi0.5 F25	EN A W-6063 T66
AlMgSi0.5 F26	EN A W-6005A
AlMgSi0.5 F27	EN A W-6005A
AlMgSi0.5 F28	EN A W-6082
AlMgSi0.5 F29	EN A W-6082
AlMgSi0.5 F31	EN A W-6082
Al 99.5	EN A W-1050A F
Al 99.7	EN A W-1070A F

/8/

Profiilien puristamiseen Mäkelässä käytetään 6xxx-sarjaa. Tämän sarjan seoksissa alumiiniin on seostettu magnesiumia ja piitä sellaisessa suhteessa, että Mg_2Si -erkaumia pääsee muodostumaan. Erkautuskarkaisu lujittaa seoksen. 1xxx-sarjaa Mäkelässä puristetaan tarvittaessa omassa valimossa tehdyistä aihioista. 1xxx-

sarja on lähes puhdasta alumiinia ja sitä käytetään profiileissa, joihin halutaan erittäin hyvä sähkönjohtavuus. Nimikkeessä EN tarkoittaa normia, A tarkoittaa alumiinia ja W muokattavaa seosta. /5/

Mäkelä käyttää valimossaan vanhoja merkintöjä. Valimossa valetaan seuraavia seoksia: F22, F25, F27 ja F31. F22 on näistä pehmein seos ja F31 kovin. Eniten valetaan F22-seosta. Taulukossa 4 on Mäkelän valimossa valettavien lisäaineiden pitoisuudet.

Taulukko 4. Mäkelä Alu Oy:n valimossa valettavien seosten lisäaineiden pitoisuudet.

Seos	Si %	Mg %	Mn %
F22	0,43-0,46	0,47-0,50	
F25	0,54-0,58	0,52-0,59	
F27	0,75-08	0,58-0,62	
F31	0,95-1.05	0,62-0,70	0,50-0,57

/8/

3.3 Alumiinin valu yleisesti

3.3.1 Sulatus

Alumiiniseosten valuissa raaka-aineena käytetään yleisimmin romusta ja muusta alumiinijätteestä puhdistettuja ja uudelleen seostettuja niin sanottuja sekundääriharkkoja sekä valimoissa syntyvää kiertoromua. /13/

Romu sisältää tietyn määrän epäpuhtauksia, mikä saattaa aiheuttaa vakaviakin ongelmia valukappaleissa. Alumiiniromu sisältää runsaasti magnesiumia ja

mangaania. Magnesiumpitoisuutta voidaan laskea kloorihuuhtelulla sekä peite- ja puhdistusaineilla. /13/

Alumiiniseosten suhteellisen matalasta sulamislämpötilasta johtuen, voidaan käyttää monentyyppisiä uuneja. Yleisimmät uunityypit ovat vastus- ja liekkiupokasuuni, induktiouuni sekä lieska- tai vastuskammiauuni. Lämpöenergian lähteenä voidaan käyttää polttoainetta eli kaasua, öljyä tai vaihtoehtoisesti sähköä. /13/

Hyvään sulatustapaan kuuluu puhtaat ja kuivat raaka-aineet, sulan hyvä suojaus hapettumiselta, suojaus vedyn liukenemiselta sekä kiinteiden partikkelien sulaan sekoittumisen estäminen. /13/

Alumiinisula hapettuu helposti eli syntyy happioksiedeja. Happioksiedeja on kahdenalaisia: matalalämpötilaoksiedeja ja korkealämpötilaoksiedeja. Matalalämpötilaoksidit ovat peräisin sulatusuuniin panostetun aineksen pinnalle sitoutuneesta kosteudesta. Korkealämpötilaoksidit puolestaan syntyvät alumiinisulan hapettuessa sulatuksen aikana. Oksidien syntyminen heikentää valun laatua, joten on pyrittävä estämään niiden syntymistä. Oksidien muodostumista voidaan välttää valvomalla raaka-aineen laatua, valvomalla sulan lämpötilaa, välttämällä sulan seisotusta, estämällä sulan virtaus pyörteisenä ja valvomalla valunopeutta. /13/

Toinen ongelma on valusakan muodostuminen. Jos alumiinisula seisoo pitkään matalassa lämpötilassa, siitä erottuu kiinteitä osia sisältävää valusakkaa. Sakka on seosaineina olevien raudan, mangaanin ja kromin sekä joidenkin epäpuhtauksien muodostamia yhdisteitä alumiinin ja piin kanssa. Valusakka kertyy uunin pohjalle, ellei seosta sekoiteta heti panoksen sulettua. Sakka heikentää sulan juoksevuutta ja valukappaleiden laatua. Seos tulee puhdistaa sakasta ja muista epäpuhtauksista ennen valun aloittamista. /13/

Seoksille on tarpeellista tehdä myös kaasuhuuhtelu ennen valun aloittamista. Huuhtelun tarkoitus on alentaa seoksen vetypitoisuus niin, ettei se pyri erottumaan sulan jähmettyessä. Huuhtelukaasuna käytetään yleensä puhdasta typpeä, argonia,

klooria tai niiden seosta. Kaasuhuuhtelussa sulaan aineeseen sekoitetaan kaasua, esimerkiksi putken avulla. Kaasuvirta jakautuu hyvin pieniksi ja hitaasti nouseviksi kupliksi. Epäpuhtaudet kertyvät kupliin ja nämä nousevat pintaan. Tämän jälkeen epäpuhtaudet on helppo poistaa seoksen pinnalta. /13/

3.3.2 Valumenetelmät

Alumiinin valamiseen tarkoitettuja erilaisia kestopuottimenetelmiä ovat: kokillivalu, matalapaine- eli pienpainevalu, painevalu, keskipakovalu, jatkuva valu, puristusvalu sekä valu keraamisiin muotteihin. Kestomuottimenetelmissä valumuotti on useimmiten valmistettu metallista ja muotit voivat kestää jopa tuhansia valuja. Metallimuottimenetelmillä saavutetaan hyvä mittatarkkuus. /13/

Muita alumiinin valumenetelmiä ovat liitosvalu ja kertamuottivalu, joissa malli on valmistettu puusta, muovista, vahasta tai metallista. /13/

4 MÄKELÄ ALU OY:N PROSESSIT

4.1 Puristinprosessin kuvaus

Puristinprosessilla tässä tapauksessa tarkoitetaan alumiiniahion työntämistä työkalun läpi kuumapuristamalla, josta syntyy halutun muotoinen alumiiniprofiili.

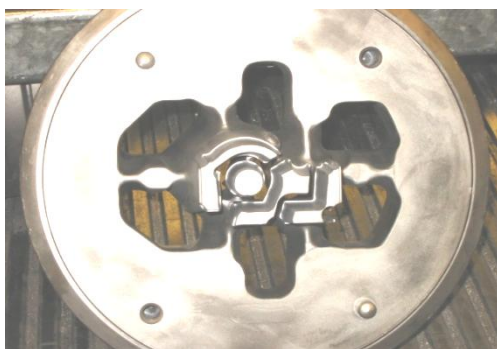
Valimossa tehty työ liittyy merkittävästi puristusprosessiin, koska huono laatu valimossa näkyy puristuksen laadussa ja lopputuloksena on huonolaatuinen tai viallinen profiili, joka kiertää jälleen valimoon sulatettavaksi.



Kuva 3. Puristinprosessi /10/

4.1.1 Työkalun suunnittelu ja valmistus

Uuden alumiiniprofiilin valmistus aloitetaan profiilin työkalun suunnittelulla. Työkalu tulee suunnitella niin, että se on pitkäkestoinen ja siitä saadaan pursotettua onnistunut profiili. Tärkeä seikka onnistumiselle olisi profiilin symmetrisyys. Tällöin työkaluun kohdistuva paine jakautuisi tasaisemmin ja alumiinin virtaus olisi helpommin hallittavissa. Kuvissa 4, 5, 6 ja 7 on työkalu pilkottuna osiin, työkalu kasattuna sekä valmis profiili. Kuvassa 8 on työkalukokonaisuuden rakenne normaalityökalulle /4/



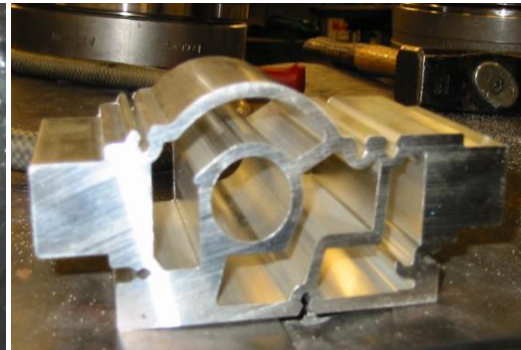
Kuva 4. Työkalun tuurnaosa /6/



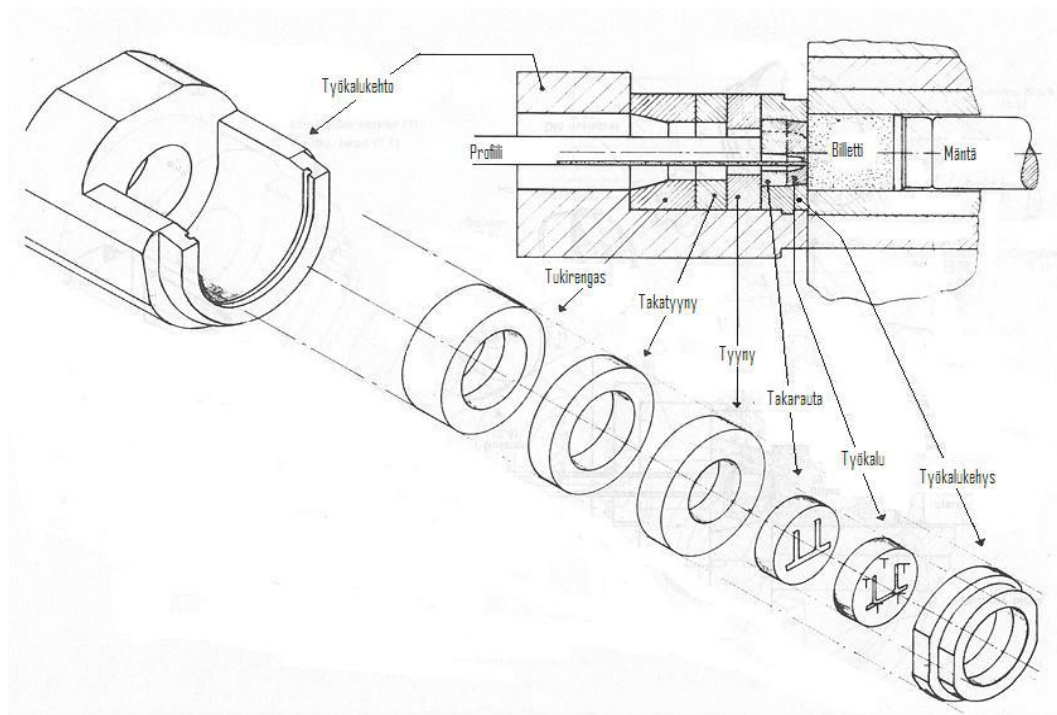
Kuva 5. Profiilin ulkokehän osa /6/



Kuva 6. Työkalu kasattuna /6/



Kuva 7. Valmis profiili /6/



Kuva 8. Työkalukokonaisuuden rakenne normaalityökalulle. /7/

4.1.2 Kuumapuristaminen

Itse puristusprosessi alkaa aihoiden lämmittämisellä. Aihioista katkaistaan puristimen logiikalta tulleen käskyn mittainen osa eli billetti, joka syötetään puristimeen ja puristetaan männän avulla työkalun läpi profiiliksi. /6/

Seuraavaksi profiili jäähdytetään, jotta se saavuttaisi vaadittavat lujuusarvot. Tämän jälkeen profiili venytetään ja sahataan haluttuun mittaan. Viimeisessä vaiheessa profiilit laitetaan uuniin lämpökäsittelyyn eli keinovanhennukseen. Näin saadaan profiileille riittävät lujuusominaisuudet. Tämän jälkeen profiilit pakataan ja lähetetään joko suoraan asiakkaalle tai jatkokäsittelyyn.

4.2 Valuprosessin kuvaus

Yhteen valuprosessiin kuuluu uunin panostus, seostus, kuonan poisto ja sulan aineen valaminen valmiiksi aihioiksi. Yhden valun lopputuloksena on 16 kappaletta noin 6,8 metriä pitkiä ja halkaisijaltaan 20 senttimetriä olevia alumiiniaihioita. Aihiot katkaistaan lopuksi 6,5 metrin mittaan.

Valimo on otettu käyttöön vuonna 1996 ja vuoden 2010 helmikuun loppuun mennessä siellä on suoritettu hieman yli 6000 valua. Vuodessa suoritetaan noin 500 valua. Kuvassa 9 on valmiita alumiiniaihioita.



Kuva 9. Valmiita alumiiniaihioita

4.2.1 Sulatusuuni

Käytössä on Sarlin-merkkinen uuni. Kerralla siihen menee noin 9000-10 000 kilogrammaa alumiiniromua. Kuvassa 10 on sulatusuuni.



Kuva 10. Sulatukseen käytettävä Sarlin-uuni

Uunin lämpötila pidetään 725:ssä asteessa. Uuni on kaasulämmitteinen ja palamiseen käytetään nestekaasuna propaani 80:tä.

Uuniin laitetaan kerralla vain vähän alumiiniromua. Seoksen annetaan sulaa ja kun uuniin tulee lisää tilaa, laitetaan sinne lisää romua. Seokseen lisätään tarvittavat seosaineet, jotka ovat riippuen seoksesta, magnesium, sinkki ja mangaani. Lisäksi seokseen laitetaan puhdasta alumiinia noin 500 kg/valu, kun tehdään pehmeämpiä seoksia.

Valua tehtäessä uunia lämmitetään täydellä teholla ja silloin uuniin puhaltaa kerralla kolme kaasuliekkiä. Sitten kun seos jätetään viikonlopuksi muhimaan, se jätetään niin sanotulle pitoliekkille jolloin vain yksi kaasuliekki puhaltaa seokseen. Tällöin seos kyllä sulaa normaalisti, mutta aikaa menee kauemmin kuin täydellä teholla käytettynä. Kuvassa 11 on alumiiniromua ja kuvassa 12 puhtaita alumiiniharkkoja.



Kuva 11. Alumiiniromua



Kuva 12. Puhtaita alumiiniharkkoja

Seosta välillä sekoitetaan pitkällä rautaputkella, jonka päästä johdetaan typpikaasua. Tämän tarkoitus on nostaa kaasukuplia pintaan, joihin epäpuhtaudet ovat tarttuneet. Samalla tarkkaillaan, että seos on sulanut tasaisesti.

Ennen valua suoritetaan seokselle vielä kuona-aineiden poisto. Ensin seos sekoitetaan typpikaasulla ja sen jälkeen sen pintaan suihkutetaan granulaattia, joka sisältää natriumkarbonaattia ja kalsiumfluoridia. Rakeiden tarkoitus on kuivattaa pinnassa oleva kuonakerros, jotta sen poistaminen onnistuu helpommin. Muutaman minuutin seisottamisen jälkeen pintaan kerääntynyt kuonakerros poistetaan manuaalisesti.

4.2.2 Valun ainespitoisuuksien tarkistus

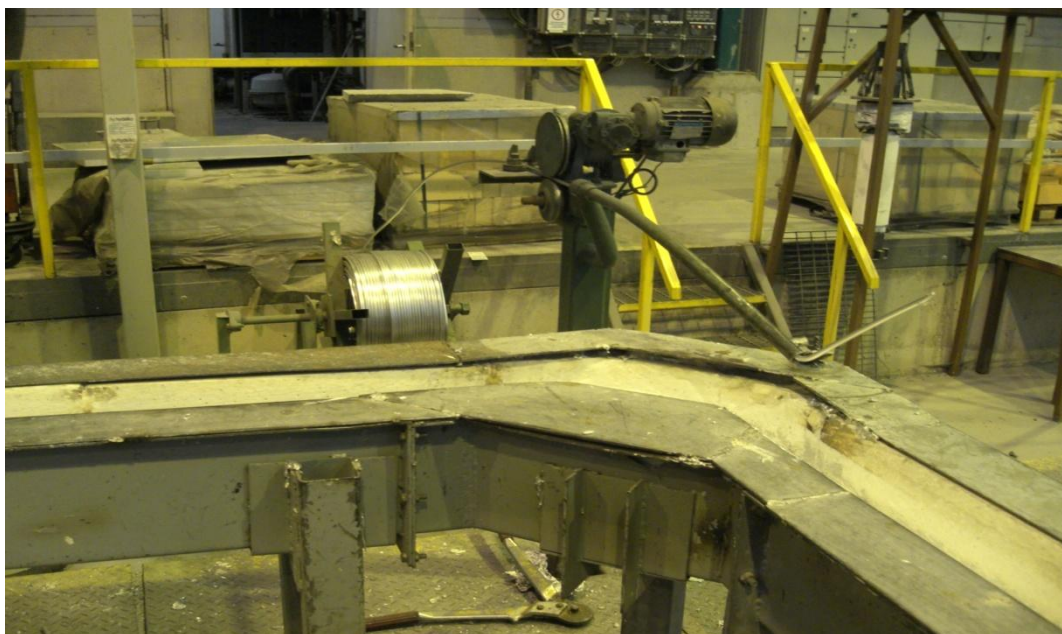
Ennen kuin seoksen valu aloitetaan, sen ainespitoisuudet tarkistetaan spektrometrillä. Tarvittaessa seosta korjataan lisäaineilla oikean pitoisuuden saavuttamiseksi. Spektrometrin toiminta perustuu kappaleen lähettämän valon spektrin tutkimiseen. Spektristä selviää kappaleen kemiallinen koostumus. Kuvassa 13 on spektrometri.



Kuva 13. Spektrometri

4.2.3 Valupöytä ja hissi

Kun seos on todettu hyväksi, aloitetaan valu. Sula aine valutetaan uunia kallistamalla valukanavaan. Samalla kun sula alumiini etenee valukanavaa pitkin, siihen sekoitetaan jatkuvalla syötöllä valulankaa. Valulanka koostuu alumiinista sekä hyvin pienistä määristä titaania ja booria. Seoslangan tarkoitus on nopeuttaa valua sekä tehdä siitä tasainen ja homogeeninen seos. Lisäksi langan on tarkoitus parantaa aihoiden puristettavuutta. Kuvassa 14 on valulanka.



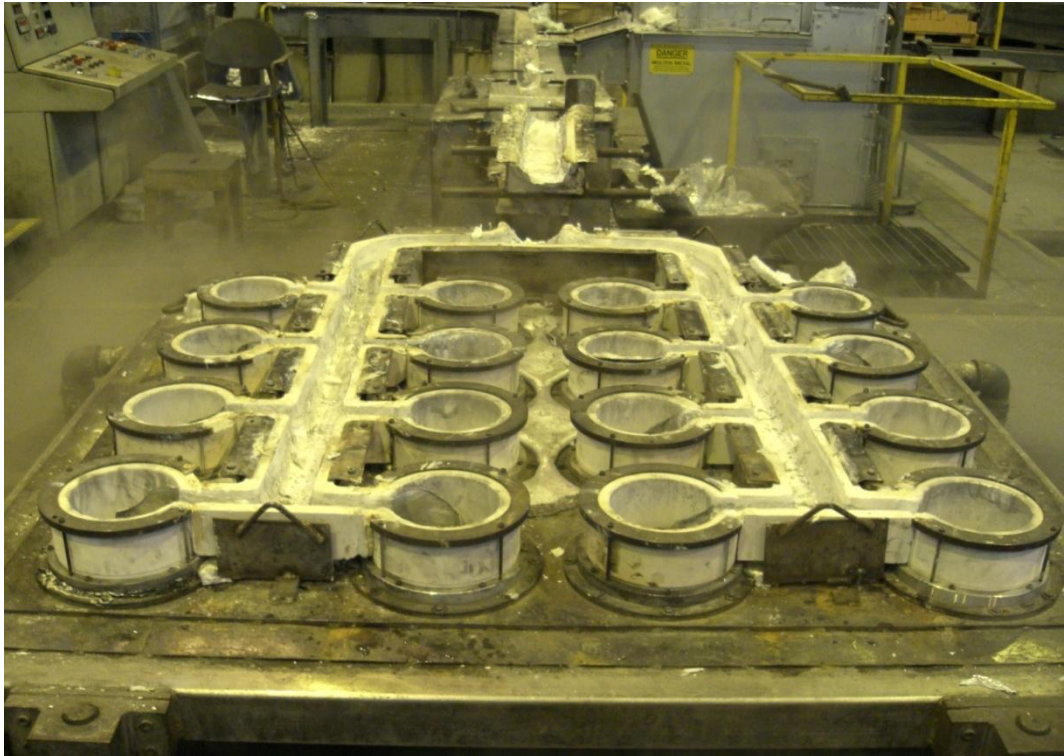
Kuva 14. Valuun lisättävä seoslanka

Seuraavaksi seos kierrätetään sulanpesulaitteen läpi epäpuhtauksien poistamiseksi. Sulanpesulaitteessa pyörii keskellä moottorin lapa, joka synnyttää kaasukuplia argonin avulla. Epäpuhtaudet tarttuvat kupliin ja ne kerääntyvät pintaan, josta ne on helppo poistaa manuaalisesti. Moottorin pyörimisnopeus on 420 kierrosta/minuutti. Tarkoitus on poistaa seoksesta ei-metalli-ainekset. Lisäksi laitteessa on sähkövastukset, jotka pitävät aineen juoksevana, ettei se jähmety. Kuvassa 15 on sulanpesulaite.



Kuva 15. Sulanpesulaite

Sulanpesulaitteesta sula alumiini menee vielä suodattimen läpi, joka poistaa viimeiset epäpuhtaudet. Suodatin on kuumennettu ennen valun aloittamista kaasuliekillä kuumaksi, jotta alumiini virtaa sen läpi paremmin. Sula aine tulee valukanavaa pitkin kohtaan, jossa se jakautuu kahteen osaan ja siitä edelleen niin, että kaikki 16 muottikokillia täyttyvät. Tämän jälkeen valupöydän alla oleva hissi aloittaa laskeutumisen maan sisään. Kun hissi aloittaa laskeutumisen, alkaa grafiittirenkaan pienistä reistä suihkuta vettä kovalla paineella, joka jäähdyttää sulan alumiinin ja aihio saa lopullisen muotonsa. Seos ehtii jäähtyä noin 20 astetta uunista tullessaan ennen kuin se kohtaa vesijäähdytyksen. Kuvassa 16 on valupöytä ja kuvassa 17 yksi grafiittirengas.



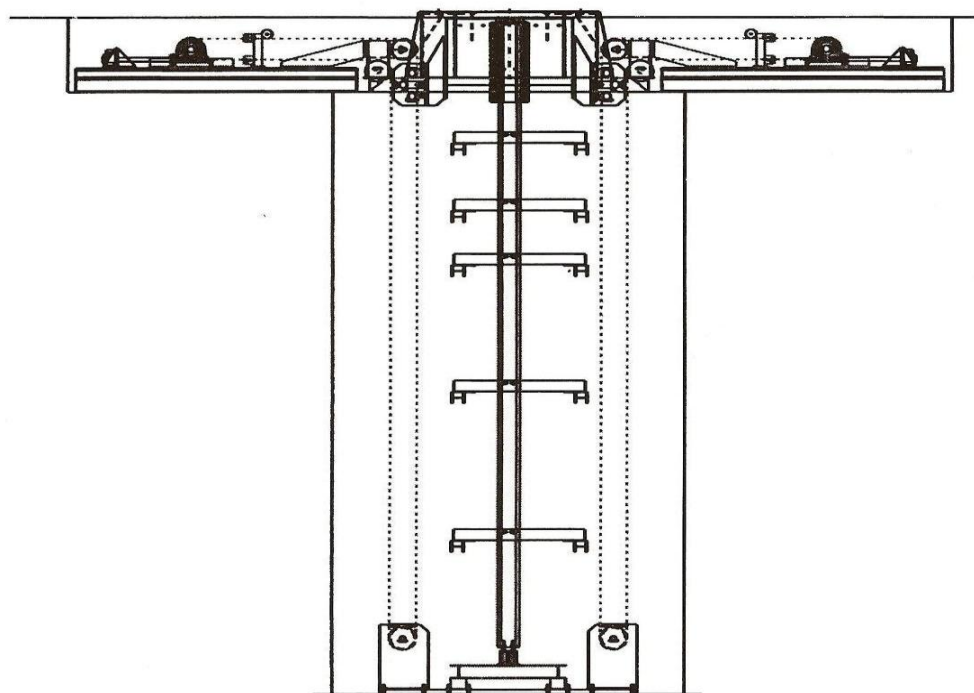
Kuva 16. Valupöytä



Kuva 17. Yksi grafiittirengas

Grafiittirenkaan ja kokillin välinen osa on rasvattu voiteluaineella ennen valun aloittamista eli se osa mihin sula alumiini painautuu ja jossa se saa muotonsa.

Hissin tarkoitus on vastaanottaa ja ylösnostaa alumiinivalukoneelta keernan läpi tulevat veteen jähmettyvät alumiiniaihiot. Hissin liikuttamiseen käytetään kahta servomootoria, jotka ovat synkronoitu toimimaan tasakäynnissä. Hissiin kuuluu seisontajarru ja suurivälityksellinen vaihteisto. Absoluuttiasema-anturi näyttää hissin etäisyyden yläpysäytyskohdasta. Nopeus alas ja hidas ylösnousu ovat esivalittavissa (0-150 mm/min), samoin kuin ala- ja yläpysähtymiskohdat. Nopean ylösnousun liikkeen nopeus on vakio (265 mm/min), samoin kuin ala- ja ylääärirajat. Hissin maksimisyvyys on 7200 mm /4/.



Kuva 18. Maan sisään laskeutuvan hissin toimintaperiaate /1/

Kun valu on valmis, nostetaan valmiit aihiot kattonosturilla sahalle, jossa ne katkaistaan kaikki samaan 6,5 metrin mittaan. Ennen katkaisua aihiot ovat noin 6,8 metriä pitkiä. Homogenisointiuuniin ei mahdu 6,5 metriä pitempää ahiota ja

sahaamalla päät, niistä saadaan tasaiset. Lisäksi varsinkin valun alkupäähän kertyy epäpuhtauksia, joten siitä päästä katkaistaan pitempi pala.

4.2.3 Homogenisointiuuni

Homogenisointiprosessin tarkoitus on tehdä aihioista homogeenisiä eli tasalaatuisia seoksia. Aihiot menevät ensin uuniin, jonka lämpötila on 580 °C. Uunissa ne ovat 7,5 tuntia, josta ne menevät jäähdytykseen. Jäähdytysuuni viilentää aihiot käyttämällä ulkona olevaa ilmaa jäähdytykseen. Jäähdytys kestää 2,5 tuntia, jonka jälkeen aihiot ovat valmiita ja ne viedään puristimelle puristettaviksi. Kuvassa 19 on homogenisointiuuni.



Kuva 19. Homogenisointiuuni

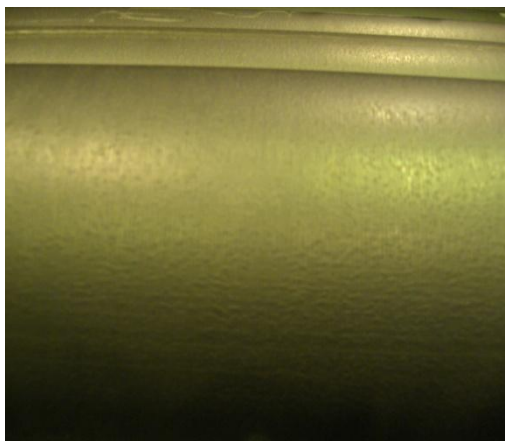
5 KEHITYS

5.1 Laatuvaatimukset

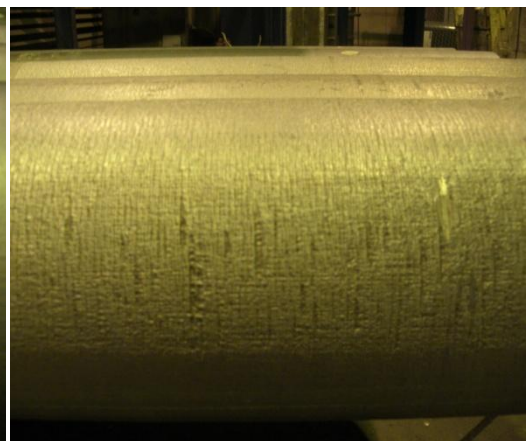
Hyvään laatuun pyrkiminen valimossa on tärkeää, koska se vaikuttaa koko tuotantoketjuun. Huono laatu valimossa johtaa huonoon lopputuotteeseen. Lopullinen laatu selviää usein vasta kun aihioista puristetaan profiileja.

Ensin tulee tietää mitä hyvä laatu tässä tapauksessa tarkoittaa. Hyvä laatu voidaan jakaa kahteen osaan: seoksen ainespitoisuudet ja pinnan laatuvaatimukset. Seoksen ainespitoisuuksilla tarkoitetaan, että valmiissa aihiossa on oikeat määrät seosaineita ja aihio olisi homogeeninen eli tasalaatuinen seos. Oikeita ainespitoisuuksia ei voida havaita aihion ulkoista pintaa tutkimalla vaan ennen valua suoritettavalla spektrometri kokeella.

Toinen laatuun liittyvä ominaisuus on aihion pinnan laatu. Aihion pinnan tulisi olla tasainen ja sileä. Usein pinnassa esiintyy erilaisia naarmuja ja halkeamia tai pinta voi olla aaltomainen. Alla olevissa kuvissa (20-22) nähdään hyvän ja huonon pinnan ja erittäin huonon pinnan ero. Kuvassa oleva hyvä pinta on aina tavoitteena, mutta yleensä aihioissa on aina jonkinlaisia naarmuja tai uria. Ongelmat korostuvat kovempia seoksia valettaessa. Varsinkin F31-seosta valettaessa on erittäin vaikeaa saada pinnasta sileää.



Kuva 20. Hyvä pinta, seos F22



Kuva 21. Huono pinta, seos F22



Kuva 22. Erittäin huono pinnan laatu, seos F22

5.2 Ongelmat

Erikoista prosessissa on se, että vaikka kaiken pitäisi olla kunnossa, siitä huolimatta voi tulla huonolaatuista tavaraa. Ja toisinaan taas tulee virheetöntä laatua pitkän aikaa, mutta pääsääntöisesti aina on jossakin aihiossa jotakin vikaa.

Epäpuhtauksien pääsy seokseen on ongelma, mikä vaikuttaa aihion laatuun. Seoksessa on aina hieman epäpuhtauksia vaikka seos epäpuhtauksista puhdistetaan manuaalisesti ja sulanpesulaitteen avulla. Kun seosta aletaan uunista valuttamaan valukouruun, seos pääsee reagoimaan hapen kanssa, mikä muodostaa oksideja seokseen ja se ei ole hyväksi seokselle. Tähän ollaan kuitenkin jo suunnittelemassa eräänlaista suodatinta.

Ennen muoteille tuloa seos menee vielä suodattimen läpi. Suodatin vaihdetaan uuteen ennen jokaista valua ja sen paikalleen laitossa voi reunoilla jäädä pieniä aukkoja, joista sula pääsee menemään ilman suodatusta. Lisäksi suodatin tulee

lämmittää kunnolla, ettei seos jähmety siihen kiinni. Tällä hetkellä suodatin lämmitetään tavallisella kaasuliekillä ja se ei aina välttämättä lämpene tasaisesti. Lisäksi suodattimen lämmitysaika vaihtelee. Kuvassa 22 näkyy kuinka sula aines valuu uunia kallistamalla valukouruun.



Kuva 22. Sulan seoksen valutus uunista kouruun

Uunin lämpötila on tärkeä. Jos seos on liian kylmää, se jähmettyy valun aikana ja aiheuttaa ongelmia. Lisäksi on tärkeää, että uunista saadaan lämpötila mitattua tarkasti ja tarpeeksi syvältä. Seoksen lämpötila laskee noin 20 astetta siitä kun se on tullut uunista kouruun ennen jäähtymisen aloittamista. Liian kuumasta seoksesta taas lisäaineet haihtuvat pois.

Suuri ongelma taloudellisesti on uunin erittäin suuri kaasun kulutus ja sen hyötysuhde. Tähän tosin on vaikea saada parannusta tätä uunia käytettäessä.

Valukouru ja pöytä ovat vanhoja ja kuluneita ja sekin aiheuttaa ongelmia. Jos kourun pinta on epätasainen ja siinä on pieniä esteitä sulalle, muodostuu pyörteistä virtaa mikä lisää oksidien eli epäpuhtauksien määrää seoksessa.

Suurimmat ongelmat ovat muoteissa ja hississä. Valumuotilla on suuri merkitys valun onnistumiseen. Muotteja ei vaihdeta mitenkään säännöllisesti vaan yksittäin

aina kun vaikuttaa siltä, että tietyn muotin kunto on liian huono. Kokilleja kuluu tällä hetkellä 2-3 jokaiseen kohtaan vuoden aikana. Hankalaa on se, että kokilleja paljaalla silmällä tutkimalla, niistä on hankala löytää vikoja. Joskus kokilli näyttää erittäin kuluneelta ja huonolta, mutta silti siitä voi tulla hyvälaatuista tavaraa. Selvää on kuitenkin, että huonokuntoinen kokilli vaikuttaa ratkaisevasti laatuun. Yleensä huonolaatuiset aihiot tulevat aina samoista reistä. Lisäksi vesijäähdytys ei aina suihkuta tasaisesti aihion jokaiseen kohtaan, koska renkaassa olevat pienet reiät voivat tukkeutua tai vesiputkissa voi olla jotain tukoksia tai roskia hidastamassa veden kulkua.

Yksi ongelmakohta on mekaanisesti laskeutuva hissi. Sen tulisi laskeutua tasaisesti ilman nytkähdyksiä tai hyppäyksiä. Toisinaan kuitenkin ketjujen väliin on päässyt jotakin roskaa ja ne hieman nytkähtävät. Hissin epätasainen laskeutuminen aiheuttaa aihion pintaan aaltomaisuutta, mikä sitten taas heikentää puristettavan profiilin laatua. Toisinaan, aivan valun lopussa, pöytä menee jostain syystä hieman vinoon ja aihion loppuosasta tulee kiero noin metrin verran.

6 TEOLLINEN KOESUUNNITTELU

6.1 Taguchi-menetelmä

6.1.1 Johdanto Taguchin menetelmään

Taguchi-menetelmä on tuote- ja prosessisuunnitteluun kehitetty laadun optimointimenetelmä, jolla on samanaikaisesti laatua nostava ja kustannuksia alentava vaikutus. Menetelmän nimi tulee sen keksijästä, japanilaisesta tohtori Genichi Taguchista, joka on kehittänyt menetelmäänsä yli 50 vuotta. /3/

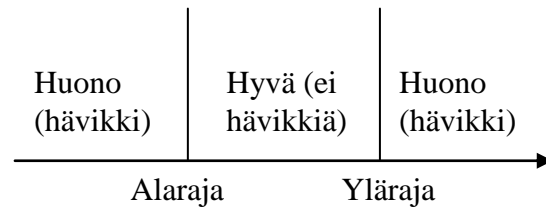
Genichi Taguchin laadun määritelmä: *”Tuotteen laatu on (minimi)kokonaishävikki, jonka tuote aiheuttaa yhteisölle sen jälkeen, kun se on lähtenyt tuotantolaitoksesta”*. /3/

Taguchin menetelmän kehitys on ollut merkittävä tekijä japanilaisten tuotteiden laadun paranemisena. Väitteen mukaan 50 % heidän tuotteiden laadun paranemisesta, vuosina 1977-1985, olisi saatu aikaan Taguchi-menetelmällä. /3/

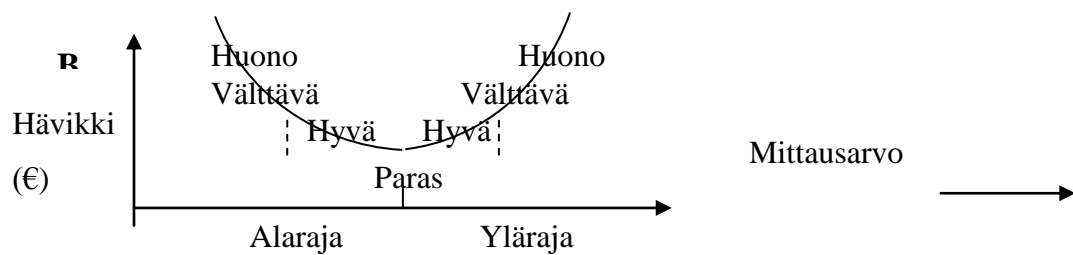
Taguchi-menetelmän perusajatus on, että tuotteen tai prosessin laatu on suunniteltava itse tuotteeseen tai prosessiin. /3/

Suunnittelu jaetaan kolmeen vaiheeseen, jossa tuotetta ja prosessia optimoidaan: systeemisuunnittelu, toleranssisuunnittelu ja parametrisuunnittelu. /3/

Kuvissa 23 ja 24 on havainnollistettu tavallisen laatuajattelun ja Taguchin laatuajattelun eroja.



Kuva 23. Perinteinen laatuajattelu. /3/



Kuva 24. Taguchin laatuajattelu. /3/

6.1.2 Systemisuunnittelu

Systemisuunnittelulla ymmärretään asiakkaiden tarpeista lähtevää tuotteen suunnittelua. /3/

Systemisuunnittelun apuvälineenä käytetään Quality Function Deployment-menetelmää (QFD). QFD:n tarkoituksena on saada asiakkaan tarpeet ja odotukset suunnittelun lähtökohdaksi ja toteuttaa sen mukaisesti kaikki prosessit, jotka luovat ja tuottavat tuotteita ja palveluja. /3/

Toinen tarkoitus QFD:lle on muodostaa strukturoitu johtamisjärjestelmä, joka takaa oikeat menettelytavat tuotteiden suunnitteluun ja dokumentointiin, ja samalla mahdollistaa asiakkaiden eri tarpeiden toteutumisen mittaamisen ja arvioinnin tuotteen kehitysprosessin aikana. /3/

QFD-menetelmä muodostuu erilaisista matriiseista ja taulukoista. /3/

6.1.3 Toleranssisuunnittelu

Toleranssisuunnittelun tavoitteena on määrittää sallittujen vaihtelujen rajat tuotteen tai prosessin parametreille. /3/

Taguchin-toleranssisuunnittelun strategiana on käyttää niin laajoja toleransseja kuin mahdollista, käyttää halpoja materiaaleja ja komponentteja sekä käyttää parasta mahdollista yhdistelmää parametreista, jotka on suunniteltu kokeellisella suunnittelulla. /3/

6.1.4 Parametrisuunnittelu

6.1.4.1 Perusstrategia

Parametrisuunnittelu on Taguchi-menetelmän tärkein ja oleellisin osa. Sen tavoitteena on löytää suunnittelijan valittavissa ja ohjattavissa olevien tekijöiden (esim. mitat, materiaalit, asetusarvot) ominaisarvot. Tavoitteena on saavuttaa maksimaalinen suoritusarvo, minimoida häiriötekijät ja minimoida kustannukset. /3/

Parametrisuunnittelun perusstrategiana on määrittää suunnittelun ohjaustekijät ja häiriötekijät sekä käsitellä niitä erillisinä. Tärkeimpänä tavoitteena on etsiä keskinäisvaikutuksia ohjaustekijöiden ja häiriötekijöiden väliltä. Tavoitteena tällä on pienentää häiriötekijän vaikutusta ja hävikkiä. /3/

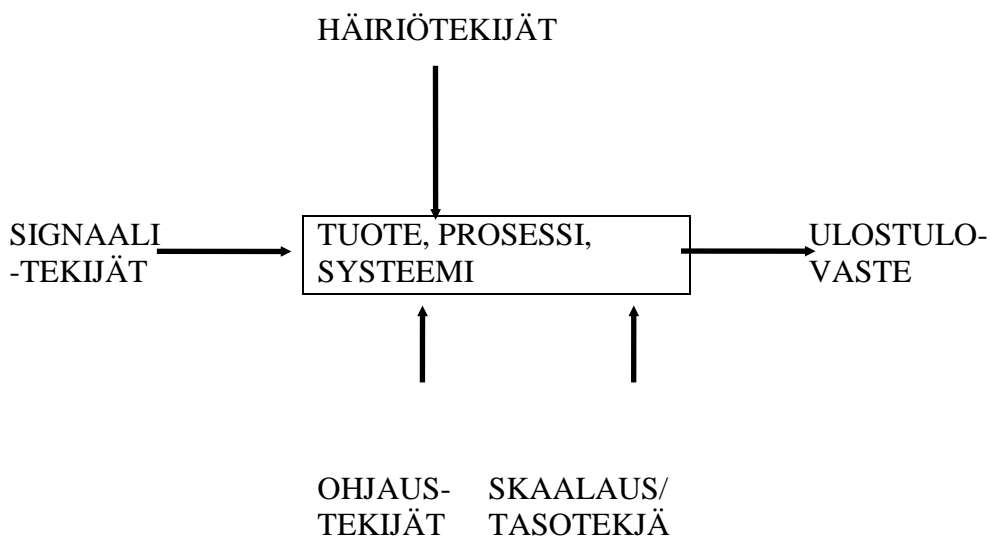
Parametrisuunnittelu eroaa oleellisesti perinteisestä suunnittelusta, sillä perinteinen suunnittelu on ongelmien etsimistä ja syiden poistamista, kun taas parametrisuunnittelussa pyritään pienentämään vaihtelua ilman syyn poistamista, koska usein syyn poistaminen voi olla liian kallis toimenpide. /3/

6.1.4.2 Parametrit

Parametrit (tekijät, faktorit) ovat tekijöitä, jotka aiheuttavat tai aikaansaavat toiminnon ja/tai toimintoon liittyvän häiriön. Taguchi luokittelee parametrit

neljään ryhmään: signaalitekijät, ohjaustekijät, skaalaus- eli tasotekijät ja häiriö- eli kohinatekijät. /3/

- Signaalitekijät ovat tekijöitä, jotka käyttäjä asettaa halutessaan prosessista tai koneesta tietyn ulostulon.
- Ohjaustekijät ovat tuotteen tai parametrin arvoja, jotka suunnittelija on asettanut.
- Skaalaus- eli tasotekijät ovat ohjaustekijöiden erikoistapaus. Niillä voidaan helposti säätää haluttu funktio signaalitekijän ja ulostulon välille.
- Häiriö- eli kohinatekijöitä ei voi ohjata. Häiriötekijät vaikuttavat ulostuloon ja niiden taso vaihtelee tuotteen ja olosuhteen sekä ajan suhteen. Kuvassa 25 on esitetty kaavio tuotteen tai prosessin optimoinnista. /3/



Kuva 25. Tuotteen tai prosessin optimoinnin malli. /3/

Taguchi jakaa laatuominaisuudet viiteen ryhmään:

- ominaisarvo on paras
Asetettu tavoitearvo saavutetaan pienimmällä mahdollisella poikkeamalla.
- pienempi on parempi
Pienin mahdollinen vaste.
- suurempi on parempi
Suurin mahdollinen vaste.
- attribuutti
Luokitellut ja/tai lasketut tiedot.
- dynaaminen
Vaste muuttuu, kun sisäänmeno muuttuu. /3/

6.1.4.3 Häiriöiden luokittelu

Häiriöt aiheuttavat tuotteeseen hävikin eli poikkeaman. Häiriöt jaetaan kolmeen luokkaan:

- Ulkoiset häiriöt. Tuotteen tai prosessin ulkopuolelta tulevia häiriöitä, esimerkiksi lämpötila tai kuormitusolosuhteet.
- Tuotteen häiriöt eli osien vaihtelut, muodostuvat osien tai materiaalien erilaisuudesta.
- Sisäiset häiriöt eli vanheneminen, tuote kuluu käytössä eli se vanhenee.

Syysuhteet ja häiriöiden vaikutukset ohjaustekijöihin voidaan selvittää seurannalla, koetoiminnalla ja/tai tulkitsemalla. /3/

6.1.4.4 Kokeiden suunnittelu ortogonaalimatriisien avulla

Kokeellisen suunnittelun menetelmät voidaan luokitella seuraavasti:

- Klassinen koemenetelmä, jonka avulla kokeillaan yhtä tekijää kerrallaan.
- Tavanomaiset tilastollisen tutkimuksen käyttämät menetelmät.
- Taguchin kokeellinen suunnittelu.

Suunnittelijalle on tärkeää, että kokeella pystytään käsittelemään suuri määrä muuttujia suhteellisen harvoilla testeillä, koe on tasapainossa, se voidaan toistaa ja koe soveltuu hyvin tuotantoon. /3/

Ortogonaalimatriisit soveltuvat hyvin Taguchin koesuunnitteluun. Käyttämällä klassista menetelmää joudutaan kokeita tekemään paljon, ne vievät paljon aikaa ja rahaa sekä sitovat paljon resursseja. Käyttämällä ortogonaalimatriiseja päästään paljon pienempiin koemääriin, tekijät on tasapainotettu niin, että jokainen tekijä on yhtäläisessä asemassa, päätekijät ovat eroteltavissa sekä tulos on hyvin luotettava ja se on toistettavissa. /3/

Jos esimerkiksi on testattava 13 tekijän vaikutus kolmessa tasossa, vaaditaan kaikkien kombinaatioiden testaamiseen $13^3=1\,594\,322$ koetta. Käyttämällä ortogonaalimatriiseja selvittää 27 kokeella. Kuvissa 26 ja 27 on kolme muuttujaa ja jokaisella muuttujalla kaksi arvoa. Käyttämällä ortogonaalimatriiseja voidaan kokeiden määrä puolittaa kyseisessä tapauksessa. Lisäksi klassisella menetelmällä poikkeamia ei voida eliminoida, koska ne eivät tule esiin. /3/



KOE	PARAMETRIT	KOETULOS
1	A1 B1 C1	Ø1
2	A1 B1 C2	Ø2
3	A1 B2 C2	Ø3
4	A2 B2 C2	Ø4
5	A2 B2 C1	Ø5
6	A2 B1 C2	Ø6
7	A2 B1 C1	Ø7
8	A1 B2 C1	Ø8

Kuva 26. Klassinen koemenetelmä. /3/

KOE	PARAMETRIT			KOETULOS
	A	B	C	
1	1	1	1	Ø1
2	1	2	2	Ø2
3	2	1	2	Ø3
4	2	2	1	Ø4

Kuva 27. Ortogonaalimatriisi $L_4 (3^2)$. /3/

6.1.4.5 Signaali-kohinasuhde (S/N-suhde)

Perusajatus on määritellä parametrit niin, että tuotteen tai prosessin funktiolla voidaan saavuttaa maksimaalinen suoritusarvo ja häiriön vaikutus funktioon voidaan minimoida. Signaali-kohinasuhteen avulla pyritään löytämään suhteelle maksimiarvo eri parametrien osalta. /3/

Signaali-kohinasuhde mittaa tavoitearvon ja hajonnan, jonka mitta on hävikki välistä suhdetta Y/s logaritmisena. /3/

Parametrisuunnittelu tutkii ohjaustekijöiden ja häiriötekijöiden keskinäisvaikutusta ja pyrkii aikaansaamaan robustin eli kestävän suunnitelman. Signaali-kohinasuhde on suoraan sidoksissa Taguchin hävikkifunktioon. Mitä suurempi S/N-suhde, sitä pienempi on hävikki ja sitä stabiilimpi on tutkittava ominaisuus. /3/

Kuvassa numero 28 on esimerkki koejärjestelyistä. Ohjaustekijöitä muutetaan kolmessa tasossa (1-3) ja niitä testataan häiriötekijöitä (E, F ja G) vastaan kahdessa tasossa (1-2). Yhden ohjaustekijän muodostaman rivin yhdistelmää vastaava koesarja käsittää 8 erilaista häiriötekijöiden yhdistelmää, joista saadaan koetulos Y. Tässä tapauksessa on tehtävä 72 koetta. /3/

					G	1	1	1	1	2	2	2	2	
					F	1	2	1	2	1	2	1	2	
					E	1	1	2	2	1	1	2	2	
Nro	A	B	C	D	Nro	1	2	3	4	5	6	7	8	S/N
1	1	1	1	1		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	S/N ₁
2	1	2	2	2		jne.								S/N ₂
3	1	3	3	3										S/N ₃
4	2	1	2	3										S/N ₄
5	2	2	3	1										S/N ₅
6	2	3	1	2										jne.
7	3	1	3	2										
8	3	2	1	3										
9	3	3	2	1										

Kuva 28. Esimerkki koejärjestelyistä. /3/

Lopuksi staattisen tilan kokeet analysoidaan laskemalla jokaiselle kokeelle signaali-kohinasuhde. Signaali-kohinasuhteen lauseke riippuu siitä, millainen tutkittava ominaisuus on ja mihin sillä pyritään. Signaali-kohinasuhteita on kolme perustyyppiä: suurempi on parempi, pienempi on parempi sekä tavoitearvo on paras. Jokaiselle on olemassa omat laskukaavansa, mutta niihin ei syvennyttä tässä työssä. /3/

6.2 Valuprosessin koesuunnittelu

Aluksi tuli valita parametrit ja ympäristötekijät joiden pohjalta luotiin koeajotaulukot ortogonaalimatriiseja hyväksi käyttäen. Helppoa oli se, että Taguchin-menetelmässä kaikki taulukot ja kaavat on valmiiksi laskettu, tarvitsee vain lisätä tekijät. Tärkeintä on löytää oikeat tekijät.

Muuttujiksi pitkällisten pohdintojen jälkeen valittiin valuhissin nopeus, valulangan syöttönopeus, sulatusuunin lämpötila sekä jäähdytysveden paine. Jokaiselle muuttujalle valittiin kolme arvoa. Perusarvo sekä ala- ja yläarvot, joilla on turvallista suorittaa valu.

Ympäristötekijöiksi valittiin seoksen sekoitusaika sekä muottien rasvaustapa ja -aika ja kummallekin kaksi arvoa. Muottien rasvaus suoritettiin niin, että jokaiseen

valuun puoli pöytää rasvattiin eri tavalla kuin toinen puoli ja näin saatiin hieman kokeiden määrää vähennettyä. Ympäristötekijäksi olisi voitu valita myös valujen välinen aika, koska valun tulos on aina maanantain ensimmäisessä valussa erittäin hyvä. Kun seos on saanut sulaa viikonlopun yli pienemmällä lämmöllä rauhassa, on tuloskin parempi. Tämä jätettiin kuitenkin pois, koska asiaa pidettiin selvänä ilman kokeitakin sekä pitempien taukojen saaminen valujen väliin oli erittäin hankalaa tuotannollisista syistä.

Yhteensä kombinaatioita oli 9 ja kun ne suoritettiin kahdessa tasossa, lopulta koeajoja suoritettiin 18 kappaletta.

Kaikki pienetkin asiat pyrittiin tekemään mahdollisimman hyvin kokeita suoritettaessa. Pienenä miinuksena oli se, että koeajoissa valurit vaihtuivat työvuorojen mukaan ja jokainen tekee asiat aina hieman omalla tavallaan. Tätä minimoitiin sillä, että minä olin mahdollisimman paljon paikalla valvomassa.

Kaikki valupöydän 16 grafiittirengasta ja kokillia vaihdettiin uusiin ennen koeajojen aloittamista. Ongelmia tuli siitä, että kokillien vaihdon jälkeen menee aina hieman aikaa ennen kuin ne tavallaan asettuvat ja tulee normaalilaatuista tavaraa. Koeajot oli kuitenkin aloitettava aikataulullisista syistä. Kesken koeajojen jouduttiin kahteen reikään vaihtamaan vielä uudet grafiittirenkaat.

Koeajoissa pyrittiin käyttämään enimmäkseen F22-seosta, mutta muutamaaan valuun jouduimme tuotannollisista syistä käyttämään F25-seosta.

Lopputulosta arvioitiin silmämääräisesti sekä mittaamalla. Jokainen aihio arvioitiin silmämääräisesti ja annettiin arvosana 1-5, jossa 5 on paras ja 1 huonoin sekä 0, jos aihio oli täysin pilalla. Lisäksi jokaisen aihion halkaisija mitattiin molemmista päistä. Kaikki arvioinnit ja mittaukset suoritin minä itse.

Kaikki koeajoista tulleet aihiot laitettiin eri paikkaan mihin muut valimosta tulleet aihiot. Ne puristetaan sitten myöhemmin kaikki peräkkäin ja tarkkaillaan muuttuuko puristettavuus. Varsinkin seoslangan määrän muutosta

puristettavuuden muutoksiin selvitetään. Lanka sisältää titaania ja sen pitäisi parantaa puristettavuutta. Tämä on sitten jo eri koe eikä kuulu tähän työhön.

Samalla kun kokeita suoritettiin, mittasimme kaasun kulutuksen jokaiselle valulle. Tämä oli ylimääräinen koe eikä sekään kuulu tähän työhön.

Liitteenä koeajojen suunnitelma (liite 1), jokaiselle valulle merkittävä ohje (liite 2) sekä arviointilomake lopputuloksen arviointia varten (liite 3).

6.3 Tulokset

Kokeet saatiin suoritettua onnistuneesti. Kolmeen valuun seokseksi tuli F25, mutta sillä ei ole vaikutusta kokeen lopputuloksen kannalta.

Kokeita suoritettaessa jäähdytysveden lämpötila saatiin pidettyä lähellä kahtakymmentä astetta, vaihteluvälin ollessa 18,8-24°C. Valujen kestoajat vaihtelivat hieman riippuen hissien nopeudesta. Nopeudella 90 mm/min kesto oli keskimäärin 1 h ja 12 min, nopeudella 110 mm/min kesto oli keskimäärin 1h ja nopeudella 115 mm/min kesto oli keskimäärin 58 minuuttia.

Uunin lämpötilaa ei aivan tarkasti saa mitattua, koska lämpömittarin paikka uunissa vaihtelee aina hieman ja se vaikuttaa mitattuun lämpötilaan, mutta lähelle haluttuja arvoja päästiin. Lisäksi sulanpesulaitteessa on tarkempi lämpömittari, jota pystyttiin tarkkailemaan.

Kokeet suoritettiin niin, että ensin suoritettiin koe numero 1 ja seos sekoitettiin normaalisti. Tämän jälkeen seuraava koe suoritettiin samoilla arvoilla kuin ensimmäinen, mutta seos sekoitettiin vielä uudelleen juuri ennen valun aloitusta. Tästä siirryttiin kokeeseen numero 2 ja niin edelleen.

Liitteessä 4 on koeajojen tulokset. Liitteen neljä, sivuilla 1 ja 2, löytyy taulukot aihoiden pinnan arvioinnista. Nämä tulokset on jaettu kahteen taulukkoon. Ensimmäisessä taulukossa on aihioista puolet eli 8 kappaletta. Näihin pöydän rasvaus suoritettiin normaalisti. Toisessa taulukossa on toinen puoli aihioista eli myös 8 kappaletta. Näille pöydän rasvaus suoritettiin myöhemmin eli juuri ennen

valun aloitusta ja näin rasva ei ehdi kuivaa. Tuloksiin on laskettu keskiarvo jokaiselle kokeelle sekä jokaiselle valumuotille. Tummennettuna näkyy kokeiden paras ja huonoin tulos.

Liitteen 4 sivuilla 3-6 ovat aihioden mitatut halkaisijat. Näitä taulukoita on yhteensä 18 eli niin monta kuin kokeitakin.

Liitteen neljä sivulla 7 on, Taguchin menetelmää avuksi käyttäen, laskettu keskiarvojen vasteet jokaiselle tekijälle. Näillä keskiarvoilla on selvitetty miten suuresti jokainen tekijä erikseen vaikuttaa lopputulokseen. Näitä keskiarvojen vastetaulukoita on kolme. Ensimmäiseen on laskettu keskiarvojen vasteet niille kahdeksalle muotille, joiden rasvaus suoritettiin normaalisti, toiseen taulukkoon toinen puolikas muoteista ja viimeiseen taulukkoon kaikkien muottien keskiarvojen vasteet. Lisäksi sivulla 9 on kaikkien valujen keskiarvojen vastekuvaaja.

Tuloksia tarkastelemalla huomataan, että valun sekoitusajalla ei ole vaikutusta lopputuloksen kannalta vaan tuloksissa tapahtuu selvää hajontaa.

Kaikille kokeille yhteistä oli se, että aina valun loppupää on heikompa kuin alkupää. Joitakin aihioita tarkemmin tarkasteltaessa huomattiin, että aihion alussa pinnan laatu alkaa jo hieman huononemaan eli se ikään kuin varoittaa tulevista ongelmista ja noin puolivälin jälkeen pinta muuttuu epätasaiseksi ja karheaksi ja pahimmassa tapauksessa siihen muodostuu syviä uria. Toisinaan on sitten aihioita, joissa on syvä ura ja se alkaa jo valun alusta. Pääsääntöisesti nämä huonot ahiot tulevat samoista valumuoteista. Tämä viittaisi siihen, että vika on pöydässä, sen muoteissa ja/tai hississä. Yksi mahdollinen vaikutus on tuloveden paineella, eli jakautuuko sen paine tasaisesti jokaiselle muotille ja jokaiseen kohtaan? Lisäksi yhdessä valussa kaikki 16 ahiota menivät kiertoon noin metri ennen loppua ja samalla kaikkiin jäi raapimisjäljet. Tällaista on tapahtunut joskus ennekin ja tämä viittaisi häiriöön hissien laskeutumisessa.

Näiden kokeiden perusteella paremmat tulokset saatiin sillä pöydän puolella, jonka rasvaus suoritettiin normaalisti. Ennakkoon oletin, että tulokset menisivät

juuri toisinpäin. Pidänkin tähän tulokseen päätymiseen syynä pöytää sekä muotteja ja niiden kuntoa enkä niinkään rasvauksen ajankohtaa, koska huonompikuntoisimmat muotit tuntuivat olevan juuri tällä puolella, joka rasvattiin myöhemmin.

Kokeista havaittiin, että käytetyistä muuttujista ainoastaan jäähdytysveden tulonopeudella on oleellista merkitystä lopputulokseen. Langan syöttönopeus ei vaikuta juuri ollenkaan valujen lopputuloksen laatuun, mutta myöhemmin tehtävissä kokeissa selviää sen vaikutus puristettavuuteen. Langan sisältämän titaatin on tarkoitus parantaa puristettavuutta ja mikäli lisääntynyt titaatin määrä ei vaikuta puristettavuuteen, niin koko langan voi jättää pois.

Hissin nopeudella tai uunin lämpötilallakaan ei suurta merkitystä vaikuttaisi lopputulokseen olevan. Hissiä nopeammin ajettaessa valuaika lyhenee ja tasainen valu on helpompaa valua suorittaville työntekijöille. Uunin lämpötilalla on merkitystä siihen, että liian kylmä seos voi jähmettyä sitä valuttaessa ja kuumempi seos on helpompaa valuttaa. Alumiinin optimaalinen sulatuslämpötila on 700 °C. Koska lämpötilalla ei ole suurta vaikutusta lopputulokseen, saadaan taloudellista säästöä pudottamalla lämpötila 725→710, koska kaasun kulutus pienenee.

Jäähdytysveden virtausnopeudella on merkitystä valuun. Kokeita tehtäessä huomattiin, että liian pienellä vesimäärällä ajettaessa lopputulos on selvästi heikompaa ja on vaarana ettei aihio jäähdy kunnolla ja osa seoksesta valuu kaivoon eli aihio menee puhki. Parhaat tulokset saatiin erittäin suurta vesimäärää käytettäessä (2000 L/min). Ainoa vaara tälle on putkien liittimien kestävyys.

Kokeiden perusteella paras tulos saataisiin ajamalla hissiä nopeudelle 110-115 mm/min, pitämällä uunin lämpötila 710-730 asteen välillä ja nostamalla jäähdytysveden virtausnopeus 2000 L/min, mikäli putkien liittimet sen kestävät.

Kokeissa ei havaittu suuria muutoksia aihioden halkaisijoissa, kuten tuloksissa käy ilmi (liite 4, s.3-7). Halkaisijoiden hajonta oli niin pientä, että sen voi melkein laittaa mittaaajan virhemarginaaliin.

Lisäksi ylimääräisessä kokeessa mitattiin kaasunkulutus jokaiselle valulle. Niiden mittaustuloksia ei tässä työssä tarkemmin käydä läpi.

7 YHTEENVETO

Laatu rakentuu pienistä asioista. On erittäin tärkeää, että kaikki pienetkin ja merkityksettömiltä tuntuvat asiat tehdään kunnolla ja perusteellisesti. Esimerkiksi tehdään valussa käytettävän suodattimen reunojen tiivistys kunnolla tai rautasinkelin pääsy seokseen estetään.

Vaikuttaisi, että prosessin lopputulos ei hirveästi muutu, kun käyttäjän säätämät parametrit pysyvät tiettyjen rajojen sisällä. Jäähdytysveden määrää kannattaa nostaa ja sulan lämpötilaa laskea kaasun säästämiseksi. Kaasun säästö voi olla merkittävä pitemmällä aikavälillä.

Selvä parannus lopputulokseen saadaan, kun valujen välissä pidetään riittävän pitkä tauko. Tämä oli jo tiedossa ilman kokeitakin. Tämä olisi taloudellisestikin kannattavaa kun sulatus tapahtuisi pienemmällä liekillä ja kaasua kuluisi vähemmän. Tauon pituuden voisi käytännössä testata. Pitempien taukojen käyttö tarkoittaisi sitä, että viikon työvuorot tulisi miettiä uusiksi. Käytännössä tämä olisi kuitenkin erittäin hankalaa ellei jopa mahdotonta.

Suurin vaikutus näyttäisi olevan valupöydällä ja hissillä. Mekaanisesti laskeutuva hissi vaikuttaa hieman epätasaiselta ja häiriöherkältä. Uuteen pöytään ja hissiin investointi on kuitenkin aika kallis vaihtoehto, joten on mietittävä miten tällä menetelmällä saataisiin lopputulos paremmaksi. Täytyykin miettiä miten muottien huono kunto pystytään havaitsemaan. Niitä pitäisi pystyä tarkastelemaan jollakin tarkalla menetelmällä ja lisäksi niitä voitaisiin yrittää mitata tarkoilla mittavälineillä ja vertailla mittojen merkitystä lopputulokseen.

Muottien vaikutus voidaan testata siten, että seurataan muutama valu ja katsotaan mistä muoteista tulee huonoa laatua. Tämän jälkeen vaihdetaan muotteja keskenään niin, että huonot vaihdetaan hyvien kanssa. Tämän jälkeen seurataan muutama valu, tapahtuuko muutosta. Jos huonot aihiot tulevat edelleen samoista reistä, ei vika ole muoteissa vaan jossakin muussa, mahdollisesti jäähdytyksessä.

Valupöydän rasvauksen ajankohdalla ei ollut merkitystä lopputulokseen. Vaikuttaisi, että rasva kuluu/palaa valun aikana pois, koska aina valujen loppupää

on selvästi heikompaa. Lisäksi, kun valupöydässä olevia kokilleja tarkkaillaan valujen jälkeen, ovat ne kuivat rasvasta. Rasvauksen parantaminen on kuitenkin hankalaa tällaisella pöydällä. Ainoa mahdollisuus on kokeilla erilaisia rasvoja tai rasvan käsittelytapoja. Yksi vaihtoehto on kokeilla erään asiantuntijan suosittelemaa tapaa, jossa ensin kuumennetaan rasva liekillä ennen voitelua. Lisäksi tämän päälle vedetään vielä uusi voitelukerros.

Seoksen ainespitoisuudet sekä mahdolliset epäpuhtaudet tulisi selvittää ja niiden mahdollinen vaikutus aihoiden pinnanlaatuun. Tulisi ottaa useampia kokeita tiheämmin seoksesta ja katsoa seoksen laadun vaikutusta lopputulokseen. Lisäksi nyt käytössä olevat seosaineiden pitoisuustaulukot olisi hyvä tarkastaa.

Työ oli kaikin puolin erittäin mielenkiintoinen. Menetelmä ehti tulla erittäin tutuksi työn aikana, koska työskentelin samalla valimossa kun tätä työtä tein. Lisäksi tutustuminen Taguchin menetelmään ja sen käyttäminen oli mielenkiintoista.

Selvää on, että uudistamisen tarvetta valimossa on. Jo pelkästään kaasun kulutus on älyttömän suuri ja uunin hyötysuhde on niin huono, että suurin osa lämmöstä menee harakoille. Investointeja valimoon onkin jo jonkin aikaa suunniteltu.

Ehkä hieman jäi harmittamaan, että aivan selkeää vastausta ei siihen saatu, miksi valun lopputulos ei ole aina hyvä. Paljon työtä tehtiin ja aika todennäköiset syyt ovat selvillä, mutta lisää erilaisia kokeita ja testaamista tarvitaan. Lisäksi niistä arvoista mitä kokeisiin valittiin, löydettiin selkeä vaikuttaja lopputulokseen eli kokeissa onnistuttiin.

LÄHDELUETTELO

- /1/ Alumiinivalukoneen hissi, käyttö- ja huolto-ohjeet 1996.
Insinööritoimisto Mastek Oy/as/ov
- /2/ Janhunen, Kari 1998. Alkuaine n:o 13. Lahti, Ecapaino.
Metalliteollisuuden keskusliitto, MET.
- /3/ Karjalainen, Eero 1990. Tuotteen ja prosessin optimointi
koesuunnittelulla Taguchi-menetelmä. Metalliteollisuuden
keskusliitto, Helsinki.
- /4/ Kivipelto, Toivo 2000. Läkipellistä alumiiniin, Mäkelä Alu Oy ja
sen juuret vuodesta 1937. 1 p. Jyväskylä. Kirjapaino Gummerrus Oy
- /5/ Kivivuori, Seppo & Härkönen, Seppo 2004. Lämpökäsittelyoppi.
Tammer-Paino Oy,
Tampere
- /6/ Korhonen, Pasi 2004. Pursotusaihioiden lämpötilamenetelmä.
Opinnäytetyö. Seinäjoen ammattikorkeakoulu
- /7/ Laue, K. & Stenger, H. 1981. Extrusion: processes, machinery,
tooling. Englanninkielinen käännös saksankielisestä teoksesta
Strangpressen. USA: American society for metals.
- /8/ Mäkelä Alu Oy:n yritysvideo [viitattu 17.4.2010] Saatavilla www-
muodossa: <URL:<http://www.makelaalu.fi>>
- /9/ Mäkelä Alu Oy [online]. Päivitetty 20.3.2009 [viitattu 17.4.2010]
Saatavilla www-muodossa: <URL:<http://www.makelaalu.fi>>
- /10/ Mäkelä Alu Oy:n sisäinen koulutusmateriaali

- /11/ Suomen standardisoimisliitto. Alumiini ja alumiiniseokset. Osa 1: muokatut tuotteet. Yleisstandardit. 2p. 2005, SFS-käsikirja 149, Helsinki
- /12/ Tampereen teknillinen yliopisto, Materiaaliopin laitos [online]. [Viitattu 17.4.2010]. Saatavilla www-muodossa:<URL: http://www.ims.tut.fi/vmv/2004/vmv_4_2_1.php>
- /13/ Valuatlas [online]. Päivitetty 4.2.2010 [viitattu 17.4.2010] Saatavilla www-muodossa:<URL: <http://http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valimotekniikanperusteet/index.html> >

KOE-OHJE**KOE
nro**pvm
valu
nro.

Hissin nopeus mm/min

Langan syöttö cm/min

Uunin lämpötila °C

Veden virtaus L/min

Seoksen sekoitusaika

Kokillit 1-8 rasvataan normaalisti

Kokillit 9-16 rasvataan juuri ennen valun aloitusta.

Rasva otetaan suljetusta ämpäristä

Suodatin pitää tiivistää reunoista

Suodatinta lämmitetään vähintään 10 minuuttia

Terässimaria mahdollisimman vähän seokseen

Veden lämpötila pyritään pitämään noin 20 asteessa

Arviointi

pvm Koe nro. Valu nro.

Aihio nro.	Pinnan laatu 1-5		Huomautuksia		Halkaisija CM	
					alkupää	loppupää
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						

	aloitus	lopetus
Veden lämpötila °C		
Valun kesto min		

	aloitus	lopetus
Uunin lämpötila uunista mitattuna °C		
Sulanpuhdistulaitteen lämpötila °C		

	aloitus	lopetus
Kaasun kulutus m ³		
Muuta huomautettavaa valusta		

Tulokset

Aihoiden pinnan arviointi

		Nämä rasvattiin normaalisti								Keskiarvo
Aihio nro.		1	2	3	4	5	6	7	8	
Koe nro.	1	4	5	3	3	3	3	3	4	3,50
	2	4	4	3	3	3	4	4	4	3,63
	3	4	4	3	3	3	4	3	4	3,50
	4	4	4	3	4	3	4	4	4	3,75
	5	4	5	4	4	5	4	3		4,14
	6	3	4	4	4	4	4	3	3	3,63
	7	4	4	2	3	3	4	4	4	3,50
	8	4	4	4	4	4	4	4	3	3,88
	9	2	3	2	4	3	4	2	3	2,88
	10	3	4	2	3	2	3	2	2	2,63
	11	3	4	3	4	3	4	3	3	3,38
	12	4	5	3	3	3	4	3	3	3,50
	13	4	4	3	4	3	3	3	3	3,38
	14	4	4	3	4	3	4	3	3	3,50
	15	4	4	4	4	4	4	3	4	3,88
	16	4	4	3	4	3	4	3	3	3,50
	17	4	4	2	4	2	4	3	3	3,25
	18	3	4	3	4	2	3	1	3	2,88
Keskiarvo		3,67	4,11	3,00	3,67	3,11	3,78	3,00	3,29	

Nämä rasvattiin juuri ennen valun aloitusta. Rasva otettiin suljetusta ämpäristä

	Aihio nro.	9	10	11	12	13	14	15	16	Keskiarvo
Koe nro.	1	1	4	2	2	3	3	3	5	2,88
	2	2	4	1	1	2	4	4	4	2,75
	3	1	5	1	1	3	3	4	5	2,88
	4	2	4	1	1	3	4	4	5	3,00
	5	3	5	1	1	2	3	5	5	3,13
	6	2	4	1	1	4	3	3	4	2,75
	7	3	5	3	3	2	3	4	4	3,38
	8	2	5	3	4	1	3	4	4	3,25
	9	1	5	1	3	1	1	3	4	2,38
	10	2	5	1	4	1	2	3	3	2,63
	11	2	5	1	4	1	2	3	4	2,75
	12	2	5	3	4	3	3	4	4	3,50
	13	2	5	1	4	1	4	4	5	3,25
	14	2	5	1	5	1	3	4	4	3,13
	15	2	5	3	5	2	3	4	5	3,63
	16	2	5	3	4	3	3	5	5	3,75
	17	1	5	0	3	0	3	4	4	2,50
	18	1	5	0	1	1	2	4	4	2,25
Keskiarvo		1,83	4,78	1,50	2,83	1,89	2,89	3,83	4,33	

Aihoiden halkaisijat

koe nro.1	Halkaisija cm	
Aihio nro.	alkupää	loppupää
1	201,75	201,7
2	201,81	201,68
3	201,75	201,68
4	201,78	201,7
5	201,84	201,72
6	201,92	201,82
7	201,65	201,6
8	201,89	201,78
9	201,67	201,65
10	201,81	201,74
11	201,7	201,52
12	202,1	201,99
13	201,87	201,89
14	202	201,92
15	201,64	202,05
16	201,93	201,83

koe nro.3	Halkaisija cm	
Aihio nro.	alkupää	loppupää
1	201,76	201,63
2	201,74	201,53
3	201,88	201,67
4	201,88	201,68
5	201,76	201,7
6	201,91	201,77
7	201,67	201,7
8	201,75	201,64
9	201,9	201,65
10	201,67	201,52
11	201,94	201,75
12	201,88	201,83
13	201,81	201,8
14	201,81	201,56
15	201,93	201,66
16	201,76	201,8

koe nro.2	Halkaisija cm	
Aihio nro.	alkupää	loppupää
1	201,75	201,77
2	201,73	201,52
3	201,84	201,67
4	201,68	201,67
5	201,81	201,7
6	202,04	201,75
7	201,76	201,6
8	201,9	201,61
9	201,81	201,63
10	201,55	201,81
11	201,97	201,85
12	201,92	201,91
13	201,81	201,98
14	201,88	201,88
15	201,95	201,76
16	201,5	201,81

koe nro.4	Halkaisija cm	
Aihio nro.	alkupää	loppupää
1	201,87	201,69
2	201,76	201,66
3	201,8	201,46
4	201,68	201,74
5	201,69	201,47
6	201,8	201,69
7	201,72	201,65
8	201,8	201,42
9	201,81	201,88
10	201,62	201,45
11	201,74	201,4
12	201,9	201,61
13	201,73	201,54
14	201,75	201,61
15	201,93	201,74
16	201,85	201,87

koe nro.5 Aihio nro.	Halkaisija cm	
	alkupää	loppupää
1	201,9	201,94
2	201,87	201,7
3	201,73	201,6
4	201,65	201,77
5	201,89	201,94
6	201,87	201,87
7	201,53	201,72
8		
9	201,82	201,61
10	201,97	201,69
11	201,61	201,41
12	201,82	201,89
13	201,79	201,85
14	201,62	201,53
15	201,99	201,63
16	202	201,75

koe nro.6 Aihio nro.	Halkaisija cm	
	alkupää	loppupää
1	201,85	201,97
2	201,6	201,4
3	201,66	201,45
4	201,9	201,43
5	201,49	201,45
6	201,82	201,57
7	201,9	201,75
8	201,9	201,7
9	201,9	201,45
10	201,8	201,65
11	201,56	201,63
12	201,97	201,9
13	201,92	201,95
14	201,68	201,55
15	202	201,65
16	201,98	201,82

koe nro.7 Aihio nro.	Halkaisija cm	
	alkupää	loppupää
1	201,34	201,26
2	201,37	201,31
3	201,3	201
4	201,37	201,41
5	201,37	201,14
6	201,48	201,1
7	201,45	201,53
8	201,32	201,35
9	201,55	201,52
10	201,32	201,53
11	201,67	201,58
12	201,64	201,6
13	201,57	201,43
14	201,62	201,65
15	201,41	201,55
16	201,35	201,44

koe nro.8 Aihio nro.	Halkaisija cm	
	alkupää	loppupää
1	201,43	201,33
2	201,4	201,5
3	201,25	201,64
4	201,45	201,41
5	201,49	201,26
6	201,31	201,34
7	201,21	201,71
8	201,41	201,16
9	201,49	201,12
10	201,57	201,5
11	201,7	201,58
12	201,65	201,4
13	201,35	201,39
14	201,49	201,47
15	201,5	201,35
16	201,19	201,28

9 Halkaisija cm

Aihio nro.	alkupää	loppupää
1	201,45	201,3
2	201,13	201
3	201,42	201,31
4	201,52	201,52
5	201,5	201,63
6	201,33	201,13
7	201,7	201,43
8	201,3	201,11
9	201,67	201,59
10	201,69	201,44
11	201,44	201,38
12	201,87	201,36
13	201,55	201,42
14	201,46	201,31
15	201,49	201,29
16	201,57	201,3

10 Halkaisija cm

Aihio nro.	alkupää	loppupää
1	201,57	201,12
2	201,86	201,32
3	201,4	201,32
4	201,43	201,16
5	201,55	201,35
6	201,41	201,51
7	201,18	201,71
8	201,35	201,11
9	201,6	201,51
10	201,41	201,51
11	201,41	201,32
12	201,3	201,25
13	201,65	201,45
14	201,44	201,42
15	201,47	201,37
16	201,43	201,27

11 Halkaisija cm

Aihio nro.	alkupää	loppupää
1	201,38	201,17
2	201,37	201,38
3	201,28	201,37
4	201,33	201,26
5	201,39	201
6	201,4	201,58
7	201,18	201,74
8	201,26	201,87
9	201,47	201,37
10	201,26	201,36
11	201,76	201,68
12	201,62	201,28
13	201,3	201,89
14	201,44	201,35
15	201,4	201,31
16	201,27	201,4

12 Halkaisija cm

Aihio nro.	alkupää	loppupää
1	201,47	201,28
2	201,52	201,45
3	201,41	201,18
4	201,32	201,3
5	201,26	201,25
6	201,51	201,47
7	201,12	201
8	201,72	201,13
9	201,41	201,45
10	201,66	201,64
11	201,55	201,74
12	201,67	201,69
13	201,46	201,51
14	201,41	201,48
15	201,68	201,48
16	201,53	201,42

13 Halkaisija cm			
Aihio nro.	alkupää	loppupää	
1	201,63	201,09	
2	201,17	201,16	
3	201,28	201,13	
4	201,39	201,14	
5	201,75	201,27	
6	201,31	201,03	
7	201,52	201,27	
8	201,24	200,88	
9	201,45	201,29	
10	201,7	201,6	
11	201,11	201,77	
12	201,46	201,14	
13	201,53	201,38	
14	201,43	201	
15	201,44	201,2	
16	201,32	201,32	

14 Halkaisija cm			
Aihio nro.	alkupää	loppupää	
1	201,37	201,05	
2	201,32	201	
3	201,1	201	
4	201,23	201,45	
5	201,35	201	
6	201,15	200,9	
7	201,43	201,26	
8	201,16	200,95	
9	201,46	201,15	
10	200,8	200,7	
11	201,23	201,21	
12	201,3	201,22	
13	201,18	201	
14	201,44	201,11	
15	201,26	201,13	
16	200,9	201,1	

15 Halkaisija cm			
Aihio nro.	alkupää	loppupää	
1	201,58	201	
2	201,28	201,05	
3	201,2	201,23	
4	201,27	201,43	
5	201,34	201,05	
6	201,45	201,3	
7	201,32	201,21	
8	201,04	201,06	
9	201,39	201,44	
10	201,16	201	
11	201,59	201,54	
12	201,35	201,54	
13	201,48	201,38	
14	201,42	201,23	
15	201,45	201,38	
16	201,4	201,45	

16 Halkaisija cm			
Aihio nro.	alkupää	loppupää	
1	201,8	201,88	
2	201,31	201,21	
3	201,36	201,05	
4	201,88	201,43	
5	201,53	201	
6	201,43	201,43	
7	201,41	201,37	
8	201,39	201,55	
9	201,65	201,45	
10	201,49	201,59	
11	201,21	201,31	
12	201,78	201,5	
13	201,35	201,21	
14	201,73	201,4	
15	201,71	201,25	
16	201,29	201,11	

17 Halkaisija cm

Aihio nro.	alkupää	loppupää
1	201,54	201,32
2	201,42	201,45
3	201,37	201,33
4	201,44	201,39
5	201,51	201,73
6	201,41	201,39
7	201,17	201,33
8	201,46	201,59
9	201,69	201,62
10	201,55	201,37
11	201,69	201,39
12	201,48	201,47
13	201,21	201,53
14	201,63	201,36
15	201,68	201,46
16	201,55	201,51

18 Halkaisija cm

Aihio
nro.

	alkupää	loppupää
1	201,5	201,3
2	201,63	201,39
3	201,76	201,36
4	201,41	201,29
5	201,36	201,07
6	201,79	201,73
7	201,31	201,76
8	201,64	201,14
9	201,54	201,23
10	201,32	201,44
11	201,17	201,49
12	201,6	201,32
13	201,43	201,61
14	201,44	201,38
15	201,57	201,25
16	201,58	201,36

Keskiarvo (Ave) –vastetaulu**Tekijä** Koesarja 1

	A	B	C	D
Taso 1	3,69	3,57	3,57	3,13
Taso 2	3,30	3,36	3,46	3,5
Taso 3	3,40	3,46	3,36	3,76
Erotus	0,39	0,21	0,21	0,63

Tekijä Koesarja 2

	A	B	C	D
Taso 1	2,90	3,11	3,21	2,57
Taso 2	2,98	3,05	2,88	3,09
Taso 3	3,09	2,81	2,88	3,32
Erotus	0,19	0,3	0,33	0,75

Tekijä Kaikki kokeet

	A	B	C	D
Taso 1	3,30	3,34	3,39	2,85
Taso 2	3,14	3,21	3,17	3,3
Taso 3	3,25	3,14	3,12	3,54
Erotus	0,16	0,2	0,27	0,69

